

診療放射線遠隔教育における可視化技術の開発と評価

Development and evaluation of the learner support system for Radiologic Technologist

鳥谷尾 秀行 Hideyuki TOYAO

秀明学園

SHUMEIGAKUEN

渋谷 二三男 Fumio SHIBUI

城西大学

JOSAI University

要 旨

Web2.0の登場により情報社会は大きく変わろうとしている。ソフトを個人（学習者）で購入して使う時代からネット上のソフトを使う時代へととなりつつある。そこで、従来の診療放射線遠隔教育（以下、eラーニングという）には、良いものはコストがかかるという欠点があったが、著者らが考案したエクセルによるコンテンツは、コンピュータの専門家でない人（ここでは、電気工学の専門家）でも自分の専門分野のコンテンツを容易に作成でき、したがって、電気工学の専門家が集まれば、多くのコンテンツを作成でき、すぐにeラーニングを構築・運用できる。これまでのエクセルによるコンテンツは時間軸を実用上考慮できなかった^{[1][2]}が、そこを著者らはできるように改善した。本システムを診療放射線技師養成学校の学生に適用した。その結果、コンテンツ（学習教材）作成も容易であり、費用も時間もかからず、アンケートとテストで学習効果が統計的に確認でき、学習効果を出せるという結果が得られた。このことは、これからの情報社会におけるeラーニングの大量性、開発容易性、経済性、可視化（動画）性の1つの方向を示していると著者は期待している。

Abstract

After Web 2.0 spread over the world, information society has been changing. Before people bought software, but now they can use software on Web. Then generally a good learner support system is expensive, however, the system we developed by Excel is not only inexpensive but also easy to make. The main feature of our system is to have the axis of time^{[1][2]}. In this paper, according to the statistical research to college students, we can conclude that our system keeps learning effect. We expect this conclusion to show a direction of e-learning systems in future information society.

1. はじめに

現在、大学・専門学校に設置されている診療放射線学科で、最大の関心事は、経営者・教員サイド、学生ともども、本国家試験に何人くらい合格するか、いわゆる国家試験合格率にあるという過言ではないであろう。これは、現在、診療放射線技師養成のためのWBT学習支援システムとして、経営サイドとして、大学・専門学校の学生数を左右するものであり、一方学生にとっては、合格は就職に直結し、ひいては一生を左右するものであり、当然の帰結であろう。各大学・専門学校はさまざまな対策を講じている。しかし、各大学・専門学校の教員サイドでは、図1-1に示す多様な専門科目を教授、指導するので精一杯である。また、年々国家試験の難易度が難しくなり、基礎的な科目から、より専門科目へと、強化重点科目がシフトし、毎年のように更新されている。更に、入学してくる学生自身のレベルも一様ではなく、特に昨今の学力低下が問題になり、数学・物理科目の学力低下が顕著になっているのが現状である。このような背景をベースに、その対策として、診療放射線技師養成のためのWBT学習支援システムが検討されてきた。しか

し、これらシステムは、単にページめくる機能的WBTであり、前述の物理・数学特に、電気の過渡現象の説明はなく、時系列的な物理・電気現象の視覚的な説明は一切なく、十分な説明とはいえない^{[1][2]}。

そこで、筆者らはここに着目すべき改善点を見つけ、学生にとってわかりやすいシステム開発の示唆があると判断した。また、関連研究として、これら手法スタイルに基づいて併設されている理学療法士、作業療法士などさまざまなシステム・教材が開発できる付帯価値を見出した。

このように、数理物理（ここでは電気回路）を学習する場合、従来は、まず、数学と物理を相当深く学習しなければならず、更に、これらをプログラミング化するには、ビジュアルベーシックVBAなどのプログラミング言語を習得しなければならなかった。これは、学習者がある程度の数学と物理のレベルを到達する

| |
|------------|
| 放射化学 |
| 診療画像機器学 |
| 機器学 |
| 診療画像検査学 |
| 核医学 |
| 核医学検査技術学 |
| 放射線治療技術学 |
| 医用画像情報学 |
| 画像工学 |
| 基礎医学大要 |
| 放射線生物学 |
| 放射線物理学 |
| 医用工学 |
| 放射線計測学 |
| エックス線撮影技術学 |
| 放射線安全管理学 |

図1-1

までに、学習者は膨大な時間と労力などの負担を強いられているのが現実である。これは、本来の数理物理の理解に到達する前に、投げだしてしまう被験者があらわれる原因になることもある。そこで筆者らはこれを防ぐ意味で、本来の数理物理を学習しやすいよう、可視化（動画）学習支援シミュレーションシステム（以下、システムという）を開発し、また、その評価をとり、分析をした。

本論文の特徴を明確にしておく次のようになる。

- (1) 従来からある高価な数値解析ソフトを使わずに、簡便にいつでもどこでも学習できるユビキタス／モバイル学習環境の数値解析可能なシステムを開発した。
- (2) 前述システムは可視化（動画）により偏微分方程式などの数理式を学習者に理解を早めるシステムである。
- (3) 該システムを使用して、被験者（学習者）に適用して理解への有効性を確認した。

2. 開発したシステム

2.1 システム設計の基本コンセプト

- 1. 開発したシステムの基本的な特徴・コンセプトは被験者が特殊な環境でなくごく普通の人の手に入る環境を想定している。

- 2. 数学的な解の振る舞い、被験者の理解を早める意味で、動画として見ることできようになっている。
- 3. 極力、数理物理の現象が目視により、被験者は体得でき、最低限のプロミラング技術と数学の学習により、本来、学ぶべき数理物理に被験者は的をしぼることができるようなシステムである。

以上の設計を基本コンセプトとした。

2.2 システム機能概要

(1) システムの方式構成

システムの方式構成を図 2-1 に示す。

注：コンパック株式会社協同開発（コンパック（株）の協力はサーバー提供及びサーバーへのアップロード）

3. 操作手順

(1) 学習者

- 1. <http://www.manabu.ne.jp/ju/> をアクセスする。
- 2. 「今すぐ学習」をクリックし、被験者 (ID:ju001 パスワードも同じ) でログインする。
- 3. 表示される該当コースをクリックして、該当問題を解く。（制限時間 10 分）
- 4. 「パーソナルサイト」から自分の成績は見られる。

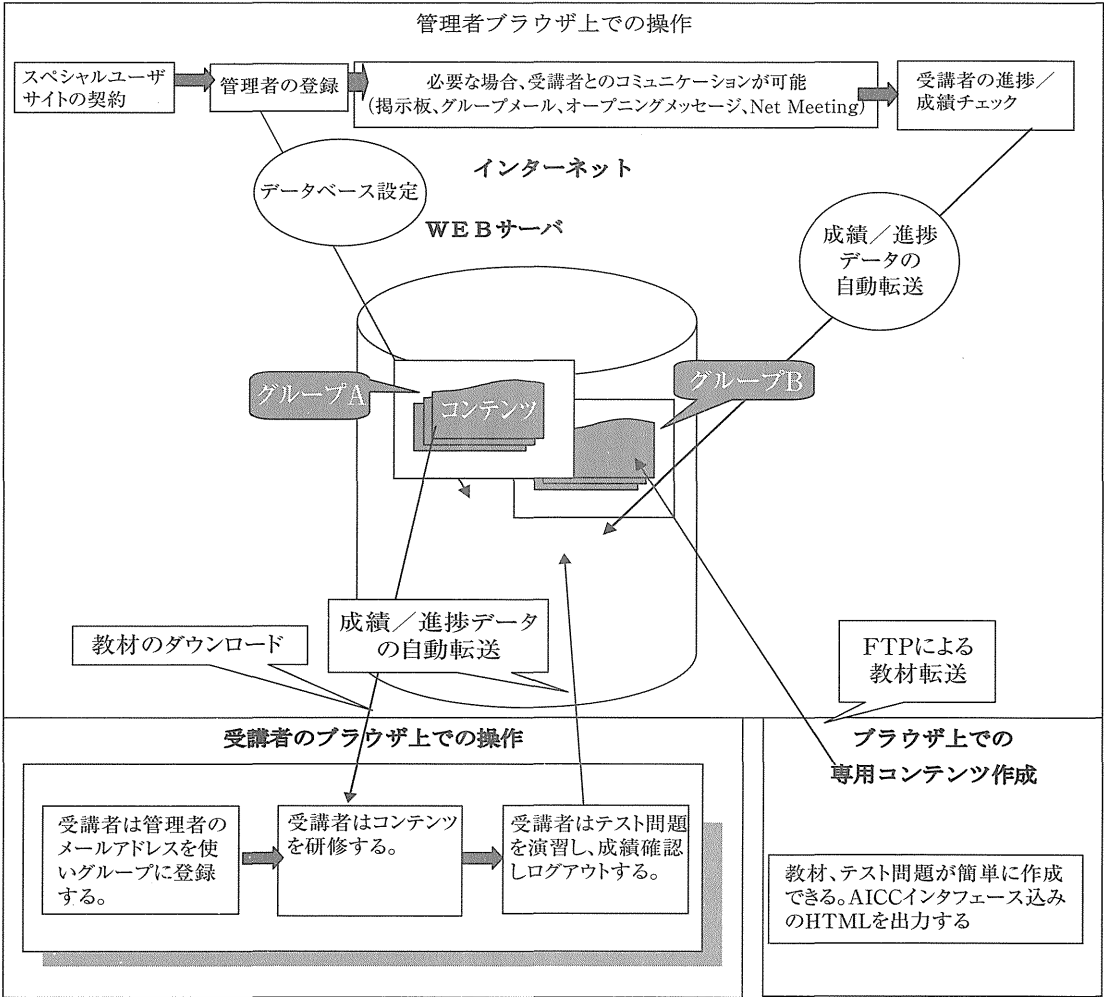


図 2-1

(テストは、数学問題は、100 点を獲るまで不正解問題を再試行させる。その他の問題は、それぞれ 100 点満点で、80 点以上は pass とする。)

(2) 管理者

1. スペシャルユーザサイトから管理者 (ID:jumgr パスワードも同じ) でログインする。
2. 「成績管理」をクリックし、「表示」をクリックすると被験者の進捗状況をチェックできる。
3. テストは、管理者がこのように確認して、成績を「削除」するまでは、被験者は同じ問題を 2 回実行することはできない。

3.1 評価法

(1) 評価尺度

本システムに対するアンケート評価尺度として、表 1 に示すようなイメージ形容詞を収集し、これを心理状況に最適といわれている SD 尺度になるよう編集した^[3]。評価尺度は“肯定”は上位方向 (4, 5), “否定”は下位方向 (2, 1) とする心理的・感覚的評価尺度とした。アンケート調査は数学履修者有無, 学習者時系列特性などどの原因の影響を探るため、表 1 の因子項目を用いた。

(2) 評価手順

評価のための実験手順を図 3-1 に示す。図 3-1 に示すように被験者は大きくわけて、

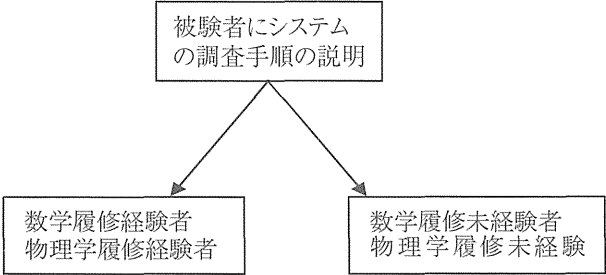


図 3-1 実験手順

- ・対照実験として、まず e ラーニングのグループと従来の講義のグループ。
- ・次に e ラーニング授業もしくは講義のみの授業の前後に小テストを実施。
- ・グループごとに授業後、アンケートを実施。
- ・高校などで、数学履修者、非履修者、履修者の中で得意、苦手。
- ・高校などで、物理学履修者、非履修者、履修者の中で得意、苦手に分類した。
- ・各グループで小テストとアンケートの結果の統計解析を行い、学習効果を分析する。

4. 学習支援の効果 (結果)

学習支援の効果は、従来通りの講義もしくは web 上での e-learning の前後の小テストとアンケートから考察された。任意に分けた 2 グループ A,B に対して、最初は両方ともに国家

試験の過去問 (図 4 - 3) を解かせる。その後、A には、従来通り、講義による説明をしたのち、別の過去問を解かせる。B には、開発したシステムを用いて、実際に web 上で見てもらい、その後、A と同じ過去問を解かせて、その効果を評価する。さらに次の評価アンケートもとった。評価アンケート項目は、コンピュータ、物理などの好き嫌いや教え方、欠席日数などについて 32 項目、5 段階 / 項目で構成され、下記にその一例を図 4-1 に示す。

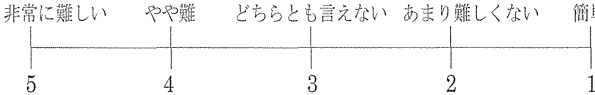
⑤電気工学・放射線工学の解は最終的な結果しか出ませんが、時間経過の途中での振舞いも動画で見れたら、もっと理解が深まると思いますか。



⑥先生の説明は良くわかりましたか。



⑦講義の内容の程度はどうでしたか。



⑧電気工学・放射線工学の講義の内容に興味を持ってましたか。



図 4-1

4.1 評価

(1) 因子分析

因子分析 (主成分分析, バリマックス回転) により「モバイル化」, 「可視化」, 「講師力量」, の 3 つの因子が抽出され、その主観評価項目と因子負荷量, 因子名を表 1 に示す。

表 1 因子分析

回転後の成分行列

| | 成分 | | |
|---------------|--------|--------|-----------|
| | モバイル化 | 可視化 | 講師力量 |
| 携帯で勉強 | 0.836 | -0.103 | 3.68E-02 |
| web での勉強 | 0.813 | 0.22 | 0.141 |
| 電気工学の背景の説明 | 0.733 | 0.209 | -3.59E-02 |
| 時間経過の動画 | 0.659 | 0.319 | 3.08E-02 |
| 可視化が数式より理解が早い | 0.105 | 0.916 | 4.70E-02 |
| 可視化が数式より良い | 0.115 | 0.867 | 2.80E-02 |
| 講義への興味 | 0.312 | 0.246 | 0.771 |
| 理詰めか感覚か | -0.138 | -0.138 | 0.747 |
| 講師の説明 | 0.325 | 0.366 | 0.624 |

回転法 : Kaiser の正規法を伴わないバリマックス法

主観評価項目と因子負荷量, 因子名

因子抽出法 : 主成分分析

(2) 判別分析

可視化に影響を与える因子が「モバイル化」, 「可視化」, 「講師力量」と予測されるが, ここにはないが 3D 散布図 図 4-2 を見る限りでは判断しにくい。よって他の方法を考える。

判別分析で考えると, 表 2 より可視化映像を見る前と見た後で判別分析を行なうと Wilks のラムダが 0.05 で, 有意確率は 0.034 となり, はっきりと 2 つのグループに分かれていることが分かる。見る前と見た後で差があると結論付けられる。表 3 では, テストで最初から半数以上正解しているものを除き, 2 つのグループの検定を行ったものであり, 有意確率 0.17 となり, 初めて電気工学を学ぶ生徒にシミュレーションの効果があると考えられる。

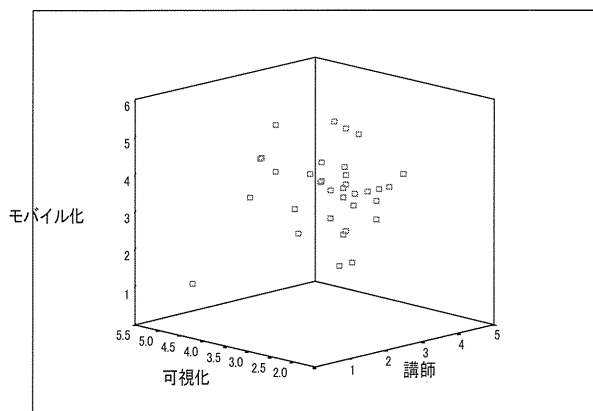


図 4-2

表 2 可視化見る前と見た後の判別

Wilks のラムダ*

| 関数の検定 | Wilks のラムダ* | カイ2乗 | 自由度 | 有意確率 |
|-------|-------------|--------|-----|------|
| 1 | .050 | 48.091 | 32 | .034 |

5. 学習支援システムの方法

次に本研究で使用した最も簡単な学習支援システムを用いたシミュレーションの例を挙げる。他のシミュレーションも同様に出来る。

RC 直列回路 (説明)

RC 直列回路ではコンデンサーに電荷が蓄えられていくが, いつかいっぱいになり, 電流は流れなくなる。それをグラフにすると図 5-1 のようになる。

次に電流を流し始めたときは, コンデンサーにはどんどん蓄えられて, 回路にはコンデンサーがないのと同じように電流が流れるので, 電流の初期値はコンデンサーを無視して, 考えてよく, オームの法則 $IR=V$ より I が求まる。

第54回国家試験午後電気・電子工学 RC 直列回路

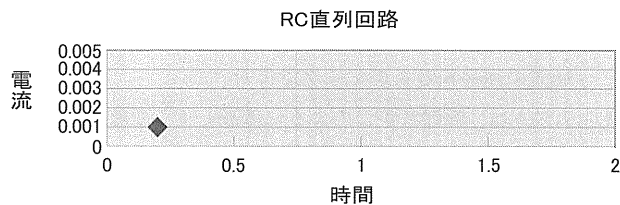
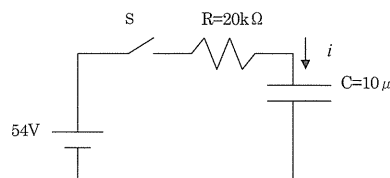


図 5-1

第 54 回 (問題 35) 図回路でスイッチ S を閉じてから 0.2 秒後の電流 i は何 A か。ただし, 自然対数の底 $e = 2.7$, スイッチを閉じる前の C には電荷はないものとする。

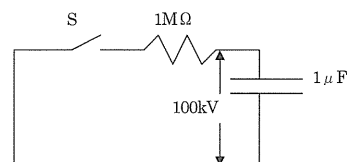


(解答) 電流の初期値 $I_0 = \frac{V}{R} = \frac{54}{20000} = 2.7 \times 10^{-3} \text{ A}$ となる。これから電流は時間か経つにつれて, 流れなくなっていくので, 答えは 1 番の 1.0×10^{-3} となる。

(参考)

一般にオームの法則 $IR=V$ とコンデンサー $Q=CV$ をキルヒホッフの法則 $V=V_R+V_C$ に当てはめると, $V=IR+\frac{Q}{C}$ より両辺を時間 t で微分して, $0=R\frac{dI}{dt}+\frac{1}{C}\frac{dQ}{dt}$ ここで $I=\frac{dQ}{dt}$ より, $0=R\frac{dI}{dt}+\frac{1}{C}I$ となるので, 1 階の常微分方程式となり, 変数分離法で解ける。
 $\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = -\frac{1}{CR}$ より, $\frac{1}{I} dI = -\frac{1}{CR} dt$ より, $\int \frac{1}{I} dI = -\int \frac{1}{CR} dt$ よって $\log I = -\frac{t}{CR} + A$ (A は定数), よって $I = e^{-\frac{t}{CR} + A}$
 初期条件を $t=0$ で $I=I_0$ とすると, $I_0 = e^A$ より, $I = I_0 e^{-\frac{t}{CR}}$ となる。
 (RC 回路) 類題, 図の回路で, スイッチ S を閉じたときの最大電流はどれか。

1. 10mA, 2. 100mA, 3. 200mA, 4. 1000mA



(解答)
2 番

表 3 映像を見る前と見た後の平均の検定

対応サンプルの検定

| | 対応サンプルの差 | | | | | t 値 | 自由度 | 有意確率 (両側) |
|----------------|----------|------|--------------|-------------|------|-------|-----|--------------|
| | 平均値 | 標準偏差 | 平均値の 標準誤差 | 差の 95% 信頼区間 | | | | |
| | | | | 下限 | 上限 | | | |
| ペア 1 差 1 - 差 2 | .42 | .996 | .288 | -.22 | 1.05 | 1.449 | 11 | .175 |

1. 1.0×10^{-3}
 2. 2.7×10^{-3}
 3. 1.0×10^{-2}
 4. 2.7×10^{-2}
 5. 6.3×10^{-2}

ここで学習支援システムのポイントとなる開発内容の創意工夫としては、学習者には、エクセルでの従来のシステムの欠点である結果しか見れなかった所を動画で時間経過の途中も見られるようにし、作成者側ではプログラミング経験がほとんどなくても作成できるようにした点である。具体的にはグラフの操作はマクロに登録して、その登録したマクロプログラムを、その開発者（教育者）のコンピュータ環境に合わせて、ダミーの for ~ next 文を入れて（必要なら入れ子にする）時間調整をして、動画をゆっくりになるようにすることができるようになった。これだけなので、VBA の経験やプログラミング経験がなくても、1つのシステムから別のシステムを作るのは容易である。

6. おわりに（結論）

マスマティカやメーブルなどのソフトは高価であり、また Web 上で学習するというのもライセンス上の問題もあり、難しいが、本研究で開発した学習支援システムならば簡単に安価にシステム構築でき、システム構築の自由度が多方面にわたることも可能である。

ただ、アンケート結果の因子分析より、モバイル化に期待が大きいので、ノートパソコン以外にも携帯電話（現在でも一部の携帯電話で PC の HP を見て、操作できる）で、勉強できるシステムを作ることがより、学習者の期待に応えるものである。さらに可視化にも期待があるので、より見易い動画コンテンツをつくることも必要である。また、講義でプロジェクター等で見せる場合は事前にアンケートをとり、その分野を得意としていない生徒を対象にして、プロジェクターを使った講義をし、得意な生徒は別に講義したほうが良いこともわかった

本研究により、放射線技師の国家試験の電気工学や放射線などの物理工学分野を得意としていない生徒に、今回の可視化（動画）シミュレーションコンテンツでも有効であると結論づけられた。本研究のもう 1 つの特徴である作成者側の作りやすさについては、1つのシミュレーションコンテンツを作るのに約 4 時間（シミュレーションだけなら 15 分程度）かかったが、習熟すれば、もっと速く作ることが可能と考えられる。実際、理

工系大学出身者に 1 つのシミュレーションをテンプレートとして他のシミュレーションを作ってもらったところ 15 分程度で作ることができたが、データ数が少ないので今回は統計解析が出来なかった。このことは次回の課題となった。このように容易にコンテンツを増やせるので放射線技師のその他の問題や他のいろいろな分野の問題にも応用できることが期待でき、学習者はいつでも、どこでも効率良く勉強できて、教育者も比較的簡単に高価なソフトを使わずにコンテンツが作れる良さがある。実際、著者らは理工系の学生に対して、数理物理に現れる偏微分方程式の動画コンテンツを作成して、有効な結果を得ている^[4]。

詳しくは <http://www.manabu.ne.jp/ju/> に数理物理ではシュレーディンガー方程式やナビエ・ストークス方程式、金融工学ではブラック・ショールズ方程式などの様々な偏微分方程式の初歩的なコンテンツを作成し、扱っているので参照されたい。

ノーベル賞を受賞したアメリカの M. ショールズらによる Black-Scholes equation はブラウン運動量を含む微分方程式を確率微分方程式として導入した。これを Black-Scholes equation といっているがこの理論はデリバティブ取引、ほか金融工学などに応用されている^[5]。

これらの解はランダムな様々な影響をうける状態を表現できるあらゆる方面に応用が期待されている。情報文化、自然科学、工学、経営学など様々な分野の状態を微分方程式の解として記述されていることがわかっている。今後の研究展開として、この分野に情報文化への応用を検討していきたい。

参考文献

- [1] 森下悦生著『エクセルで学ぶ流体力学』丸善, (2000).
- [2] 木村欽一著『エクセルで解く線形・非線形方程式の数値計算』丸善, (1999).
- [3] 洪井二三男, 石井宏, 田村武志: “遠隔授業特性の評価と改善”, 日本教育工学雑誌, 18 (3/4), pp153-164 (1995).
- [4] 鳥谷尾秀行, 辻達之, 坂本重巳, 洪井二三男: “診療放射線技師養成のための e-learning 学習システムの開発と評価”, 教育システム情報学会 30 周年記念全国大会, 2005/8/25
- [5] 『イミダス』ムック, (2007).